



北海道大学  
低温科学研究所

The Institute of Low Temperature Science  
Hokkaido University  
1978

POLAR  
PAM  
160

POLARPAM

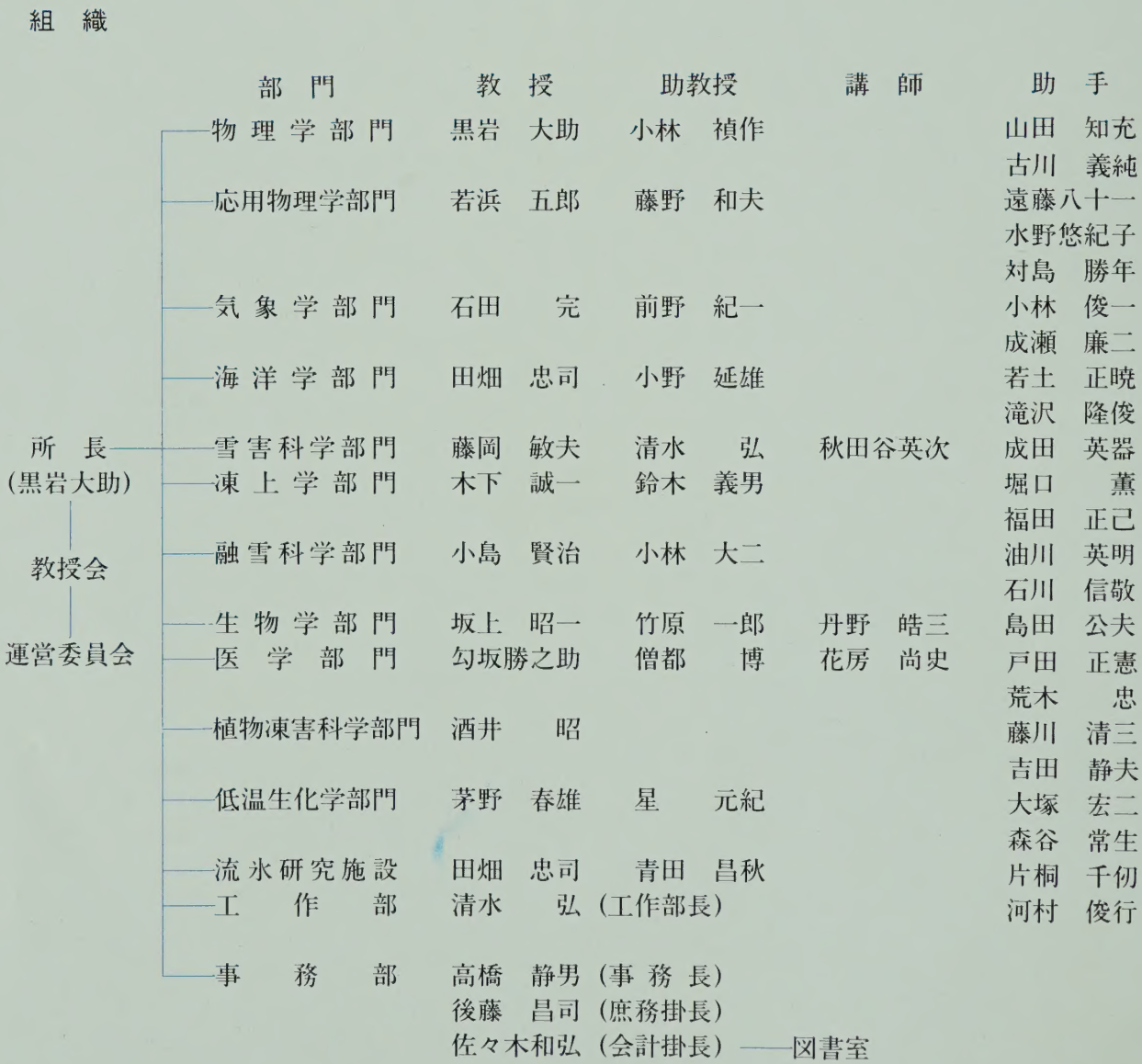
Pam:061.1:(52)J1475-2



北海道大学低温科学研究所は寒地環境における自然現象の学理と応用を研究し、寒地に住む人々の福祉に寄与することを目的とする。

寒地といえば人は南極や北極、または雪線をこえてそびえる高山の頂を想像するだろう。たしかにそこは永久にとけることのない冰雪に覆われた世界の寒極である。しかし、寒地の定義は、夏は温暖な気候にめぐまれているが、冬はきびしい寒波の襲来をうけ、土地も川も海も凍り、かつ深い積雪がすべてを覆いつくす地域をも含めるべきである。そのような地域にこそこの研究所が解決すべき多くの問題点があるのである。なぜならそこには人間の生活があり、生きとし生けるものすべて冬のきびしい寒冷のインパクトにさらされるからである。

低温科学研究所は寒冷に屈することなく、謙虚に自然をながめ、自然から多くのものを学び、そこに新しい学問の分野を創造することに熱意をもつ科学者にその門戸を開くものである。



所員総数 96名 (1978年現在)  
研究所が関係する大学院  
理 学 研 究 科 (地球物理学専攻, 動物学専攻, 植物学専攻, 化学専攻)  
環境科学研究科 (環境保全学専攻)  
学生数 31名 (1978年 4 月現在)

060 札幌市北区北19条西 8 丁目  
011-711-2111 (代表)  
011-742-0523 (夜間)



The Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, aims to conduct basic and applied research pertaining to natural phenomena occurring in cold regions. Arctic and Antarctic or mountains protruding from a snow line are typical of cold regions in the world, but the definition of cold region should be extended to more temperate regions where the surface of the land freezes and thick snow and ice cover it in winter. Japan is situated in a temperate latitude, but cold waves which come across the Sea of Japan from Siberia release much snow on the land of the northern part of Honshu and Hokkaido islands, creating many troubles for human life and industrial development. We must learn many things from nature to solve problems in cold regions and must harmonize human activities with nature.

The Institute of Low Temperature Science welcomes many scientists who are interested in conducting research work in cold regions.

ORGANIZATION

	Section	Professor	Assoc. Prof.	Lecturer	Assistant
Director (D. Kuroiwa)  Professor's Meeting  Committee for Administration	Physics	D. Kuroiwa	T. Kobayashi		T. Yamada Y. Furukawa
	Applied Physics	G. Wakahama	K. Fujino		Y. Endo Y. Mizuno K. Tsushima
	Meteorology	T. Ishida	M. Maeno		S. Kobayashi R. Naruse
	Oceanography	T. Tabata	N. Ono		M. Wakatsuchi T. Takizawa
	Snow Damage	T. Huzioka	H. Shimizu	E. Akitaya	H. Narita
	Frost Heaving	S. Kinosita	Y. Suzuki		K. Horiguchi M. Fukuda
	Snow Melt	K. Kojima	D. Kobayashi		H. Aburakawa N. Ishikawa
	Biology	S. Sakagami	I. Takehara	T. Tanno	K. Shimada
	Medical Science	K. Sagisaka	H. Souzu	N. Hanafusa	M. Toda
	Frost Injury in Plants	A. Sakai			T. Araki K. Fujikawa
	Biochemistry	H. Chino	M. Hoshi		S. Yoshida H. Otsuka
	Sea Ice Lab	T. Tabata	M. Aota		T. Moriya
	Workshop	H. Shimizu (Chief)			C. Katagiri
	Administration Office	S. Takahashi (Chief) M. Goto (General Affairs) K. Sasaki (Treasurer)			K. Kawamura

Numbers of scientists .....48  
Numbers of support personels.....48

Most professors in this Institute hold an additional post at the following graduate schools in Hokkaido University :

Advanced course in Geophysics, Botany, Zoology, Chemistry  
and Environmental Sciences.

Numbers of students.....31 (April 1978)

LOCATION

Rec'd: Feb 23/79 Kita 19, Nishi 8, Kita-ku, Sapporo, 060 Japan  
Order No.: Free Tel. 011-711-2111  
Price: Inst. of Low 011-742-0523 (night)  
Acc. No.: Temp. Science

33478



## 沿革

- 昭和16年11月 低温科学研究所が北海道帝国大学に設立された。研究部門は次の6部門であった。
- 物理学部門      応用物理学部門  
気象学部門      海洋学部門  
生物学部門      医学部門
- 昭和24年5月 北海道帝国大学が北海道大学に改められ低温科学研究所は附置研究所となった。
- 昭和38年4月 雪害科学部門が増設された。
- 昭和39年4月 凍上學部門が増設された。
- 昭和40年4月 流水研究施設が紋別市に設置された。
- 昭和41年4月 植物凍害科学部門が増設された。
- 昭和41年8月 低温科学研究所創立25周年を記念して低温科学に関する国際会議を開いた。
- 昭和43年3月 新研究棟 2,892平方メートルが完成し移転した。
- 昭和43年11月 研究所の低温棟 2,335平方メートルが完成した。
- 昭和45年4月 融雪科学部門が増設された。
- 昭和48年4月 低温生化学部門が増設された。

医学部門は生理学部門に、生物学部門は動物学部門に、低温生化学部門は生化学部門に名称が変更される予定。

## 出版物

本研究所の研究成果は、内外の各種学術専門誌に発表されるものの他、本研究所が出版する以下の報告書に公表される。

低温科学，物理篇，生物篇（和文年1回）

CONTRIBUTIONS FROM THE INSTITUTE OF LOW TEMPERATURE SCIENCE. (英文不定期)

Ser. A (物理)

Ser. B (生物)

## HISTORY

- 1941 Nov The Institute was established with the following research sections :  
Physics, Applied Physics, Meteorology, Oceanography, Biology, Medical Science.
- 1963 Apr. Snow Damage Section was added.
- 1964 Apr. Frost Heaving Section was added.
- 1965 Apr. A sea ice research station was established in Monbetsu City, Okhotsk Sea coast, as a branch laboratory of the Institute.
- 1966 Apr. Section of Frost Injury in Plants was added.
- 1966 Aug. The International Conference on Low Temperature Science was held to celebrate 25th anniversary of this Institute.
- 1968 Mar. New building of the Institute was completed.
- 1970 Apr. Snow Melt Section was added.
- 1973 Apr. Biochemistry Section was added.

The name of the following research sections will be changed as below, in near future :

Medical Science→Physiology.

Biology→Zoology.

## PUBLICATIONS

Results obtained in this Institute are published in international and internal scientific journals and the following publications :

TEION-KAGAKU (Low Temperature Science)

Butsuri-Hen (Physics) in Japanese.

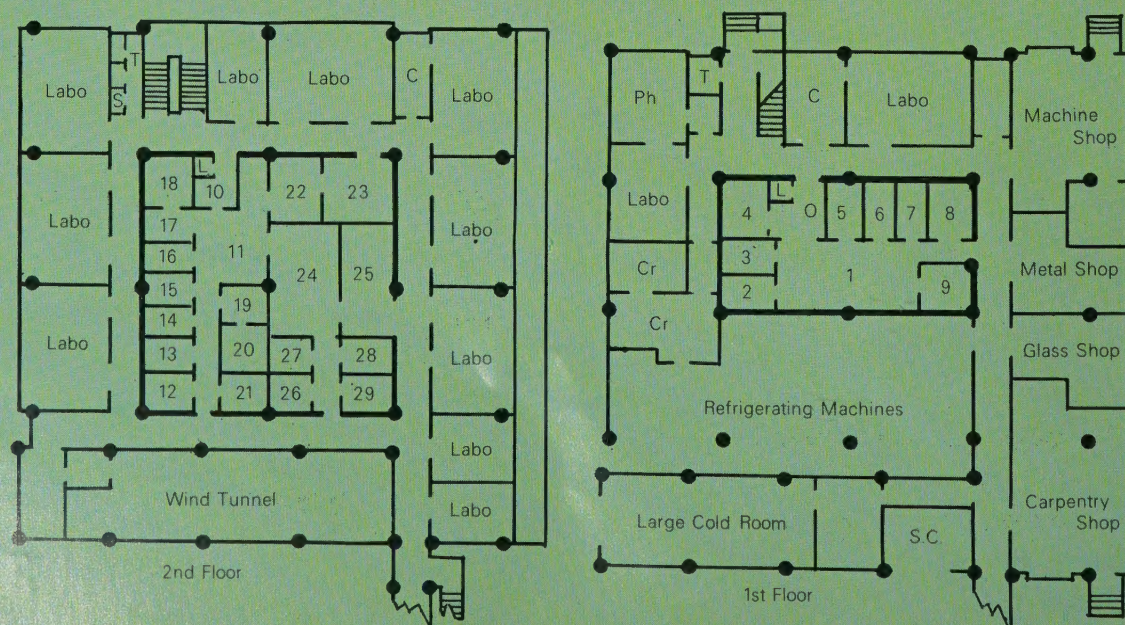
Seibutsu-Hen (Biology) in Japanese.

CONTRIBUTIONS FROM THE INSTITUTE OF LOW TEMPERATURE SCIENCE (in English)

Series A (Physics)

Series B (Biology)

低温実験棟 (Cold Room Building)..... 2,335m<sup>2</sup> in total areas. Areas encircled by thick solid lines are cold rooms.



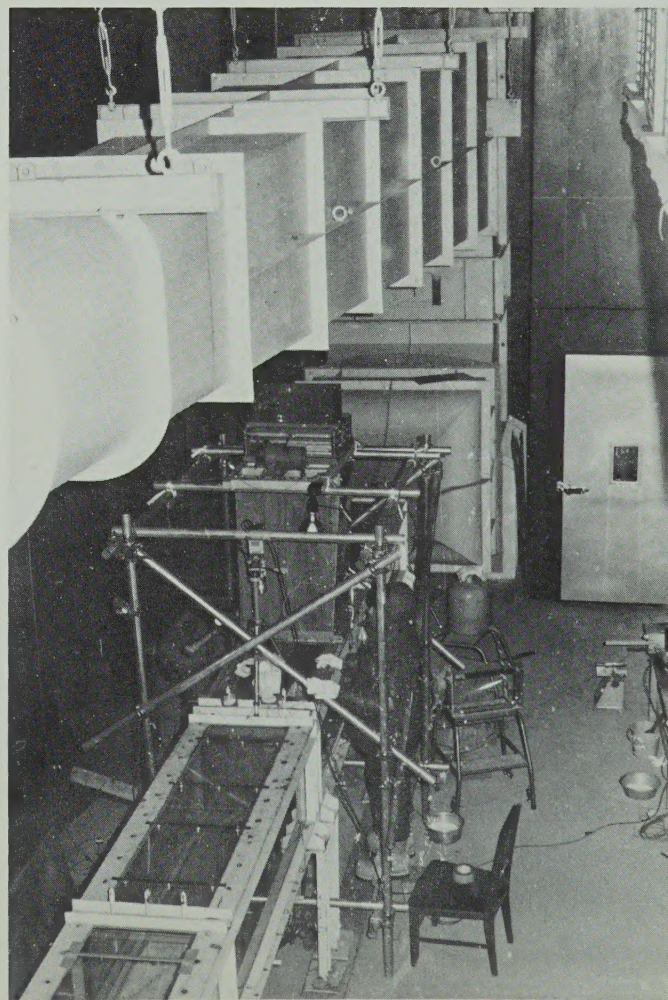




低温科学研究所・本館 Main Building



低温室 Cold Room

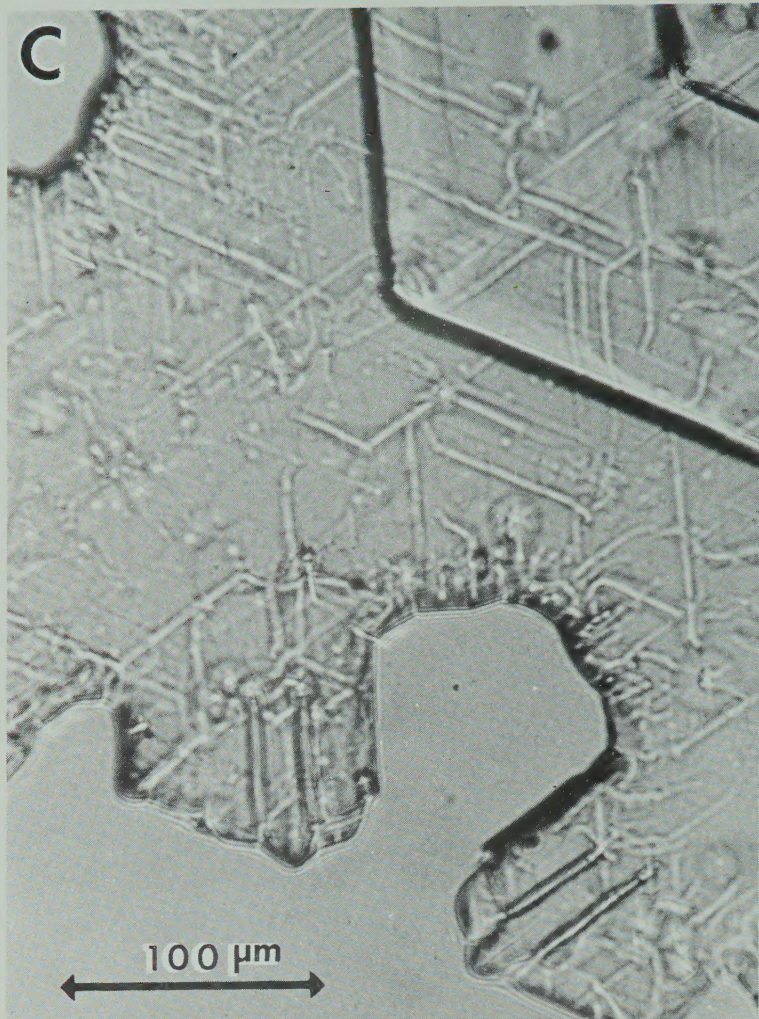


低温風洞 Wind Tunnel in Cold Room

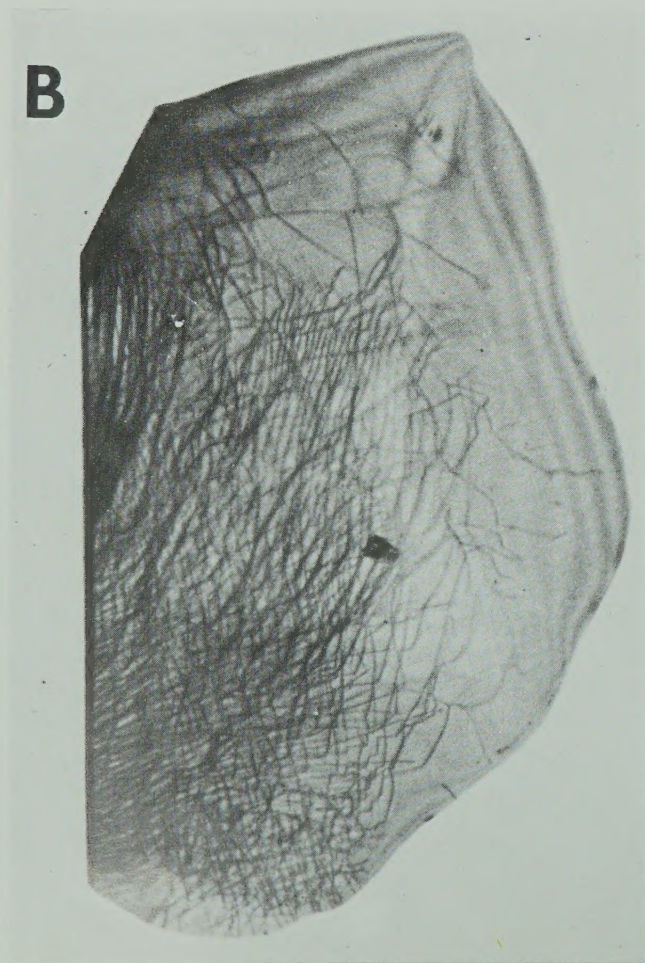




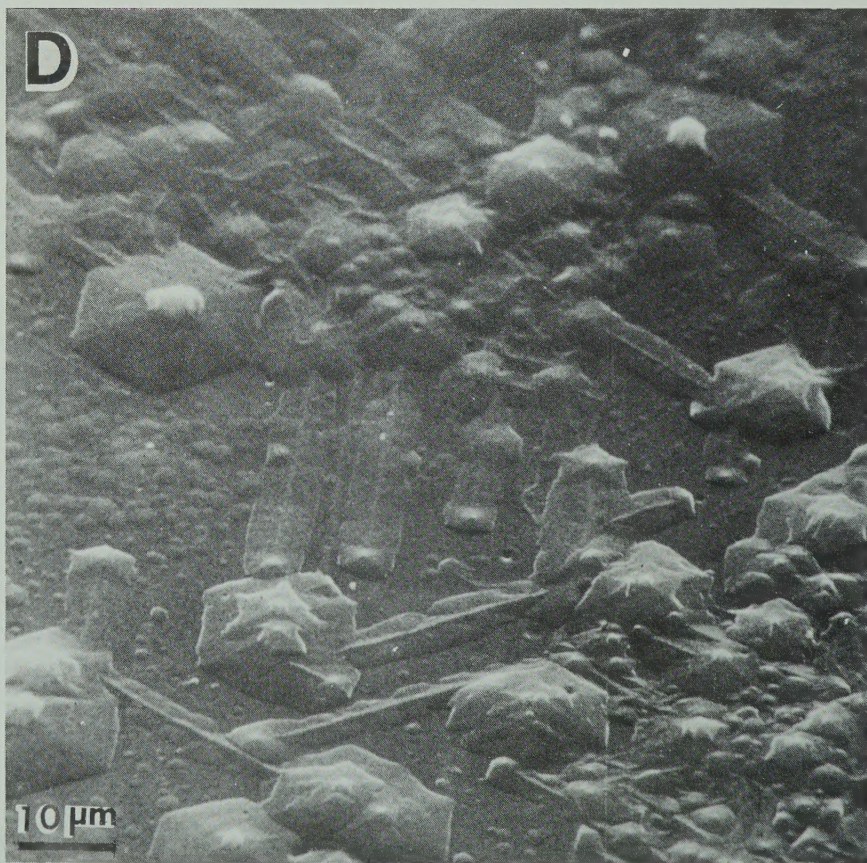
A twin snow crystal taken through polarized light.



Dislocation etch pits and channels on snow crystal surface (chemical etching).



Dislocations in a hoar crystal taken by X-ray topography.



Scanning electron micrograph of dislocation etch pits and channels on (0001) plane of ice.



# 氷の流動 Flow of Ice



Slip deformation of a single crystal of ice.



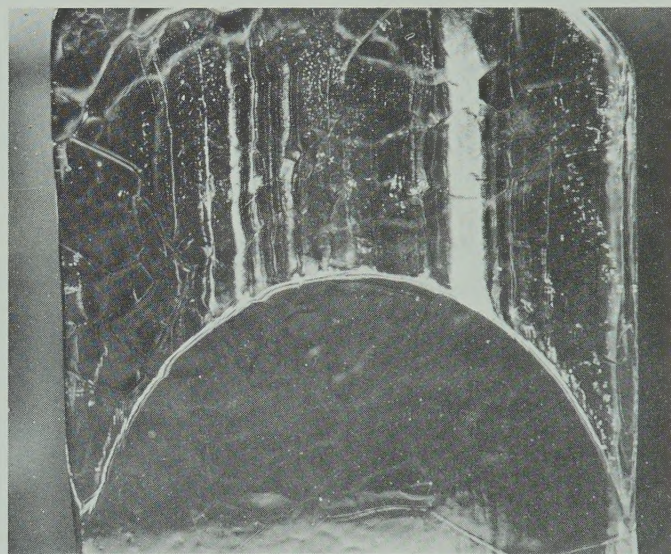
Flow of glacier.

「雪は天から送られた手紙である」とはこの研究所の創立者の一人、故中谷宇吉郎の言葉である。現在、雪の結晶の研究は立体樹枝状、双晶型の雪などもっばら多結晶雪の構造と生成条件の研究にむけられている。5頁、Aは双晶型雪結晶の代表的な写真である。

最近の結晶物性の研究は結晶のなかに「転位」という分子や原子の配列の乱れた場所があり、その存在が結晶の強度や変形を左右することを明らかにしてきた。雪の結晶、氷の結晶も例外ではありえない。しかし転位は特別な工夫をしなければみることはできない。5頁、Bは、霜の結晶のなかの転位をX線トポグラフという方法で撮影したもので黒い線が転位である。Cは樹枝状雪の表面を特殊な薬品で腐蝕したものである。転位線が結晶表面に顔を出していると、そこは分子の配列が乱れているので正常な場所に比べてとけやすく結晶面に特有な形の凹み（ピットという）をつくる。写真にみられるように雪結晶の表面には氷の底面に特有な六角形のピットと、結晶の六角形の一辺に平行に走るみみずのような筋ができています。この筋は転位線の露頭が動いたあとが腐蝕されて浅い溝になったと考えられる。Dはそんな氷の底面の転位ピットと腐蝕溝を走査電子顕微鏡で拡大したものである。ピットは凸にみえるが実際は凹んでいる。

氷の単結晶の棒に力をかけて引張ると破断する前に6頁、Eのように途中がくびれて伸びることがある。こんな変形は結晶内部の特定の分子面で迂りがおこったからである。迂りの原因は転位線が外力によって迂り面(氷では結晶底面)の上を動いたからである。6頁Fはアラスカの氷河の流動を示す写真であるが氷河のような巨大な氷塊の変形ももとをただせば氷の内部の転位の迂り運動の結果である。

転位は結晶の強度や変形にあずかるだけでなく5頁、Aのような双晶結晶の境界の先端にも顔を出していて結晶の成長を助けている。このように転位というただか1分子のくいちがいにはすぎないミクロな構造の乱れが結晶のマクロな性質や現象と直接に関係しているのである。



## 復 氷

Regelation.

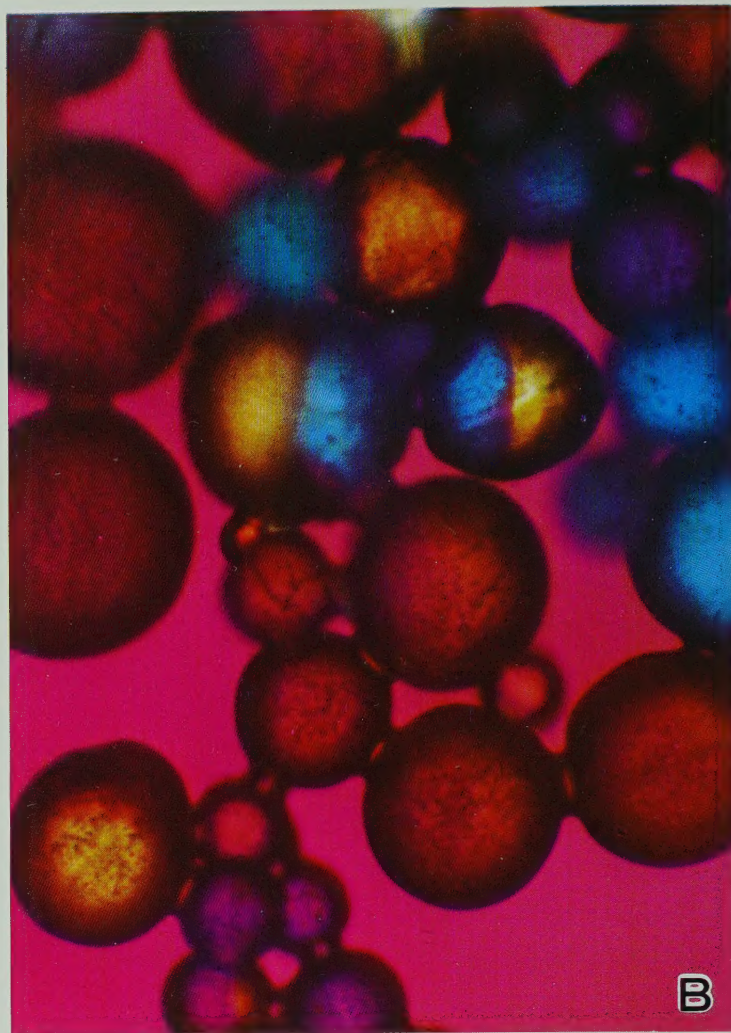
細い針金の両端におもり(W)をつけて氷の上に乗せると、針金は氷のなかにくいこみ、氷のなかを通過してぬけ落ちる。ところが針金を通ったあとは、ゆ着していて氷は切断されない。この現象は復氷といって1850年代にファラデーが発見して以来くりかえし実験が行われている。まだその機構がよくわかっていないからである。針金のすすむ前面では圧力がかかっているため氷がとけて水になる。その水が針金のうしろにまわると圧力が下って凍る。そのとき気泡が氷のなかに捕えられスジのようになる。



# 氷の焼結 Ice Sintering



Ice spheres sintering at  $-10^{\circ}\text{C}$



After 64 min. Note : Growth of necks between ice spheres and change of the crystallographic orientations during sintering.



Spheridization and coarsening of snow particles immersed in water kept at the melting point of ice.

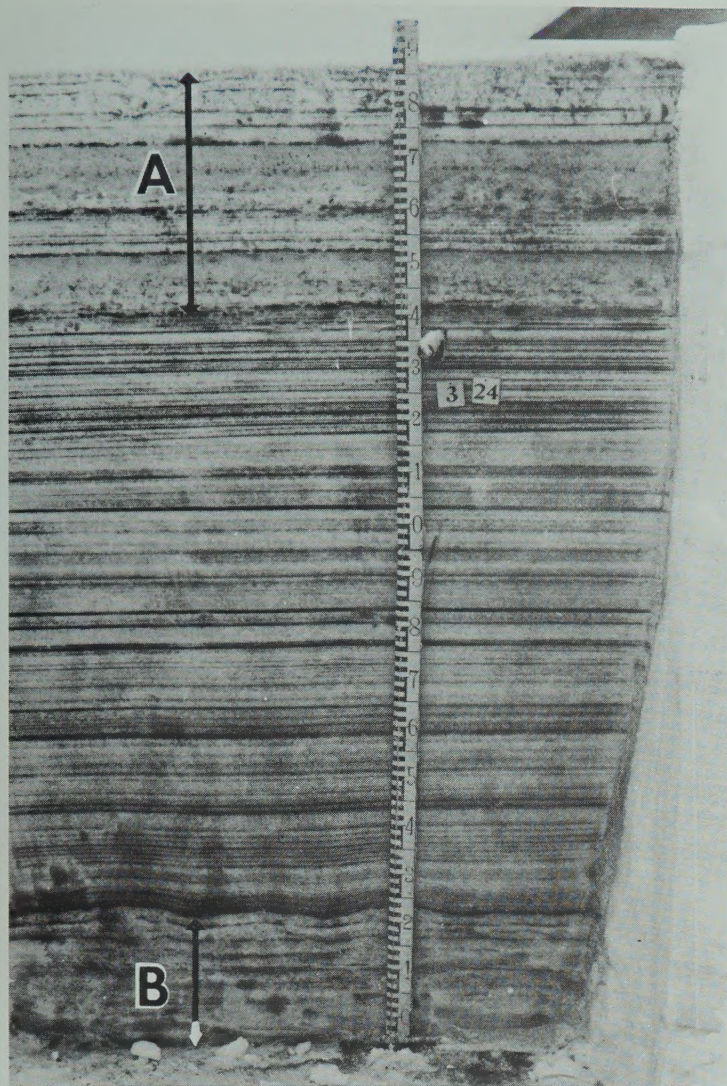
氷の粒と粒とを接触させるとすぐくっつく。こんな氷や雪粒の附着は「焼結」によっておこる。この言葉は元来窯業の専門語で一名「半融」という。固体の粒子を接触させてから融点より少し低い温度で長く焼くと接触くびれに分子や原子が移動してきてくびれが太る現象をいう。 $-10^{\circ}\text{C}$ ～ $-20^{\circ}\text{C}$ という温度は人間にとっては大へん冷たい温度である。しかし、氷にとっては融点( $0^{\circ}\text{C}$ )にきわめて近い高温なのである。だから氷の粒と粒とを接触させるとすぐくっつきくびれが太くなっていく。7頁Aは氷の球を $-10^{\circ}\text{C}$ で接触させた直後、Bはそれから64分たったあとの写真である。明らかに氷球の接触部が太くなっている。それと同時に初め複雑な偏光色を示していた多結晶の氷球は焼結の進行と共に単結晶氷に変化した。

7頁、Cの写真は小さな不規則な形の雪粒を完全に $0^{\circ}\text{C}$ に保った水のなかに浸して放置したものである。雪粒の外形はほぼ完全な球になっただけでなく平均直径が時間と共に増大していくことがわかった。液相が介在しているときの焼結現象である。

このように氷の粒の焼結は、積雪の力学的性質の時間的变化や変態を理解するうえにもっとも大切な基礎的現象である。



# 積雪, その作用と反作用 Snow Cover

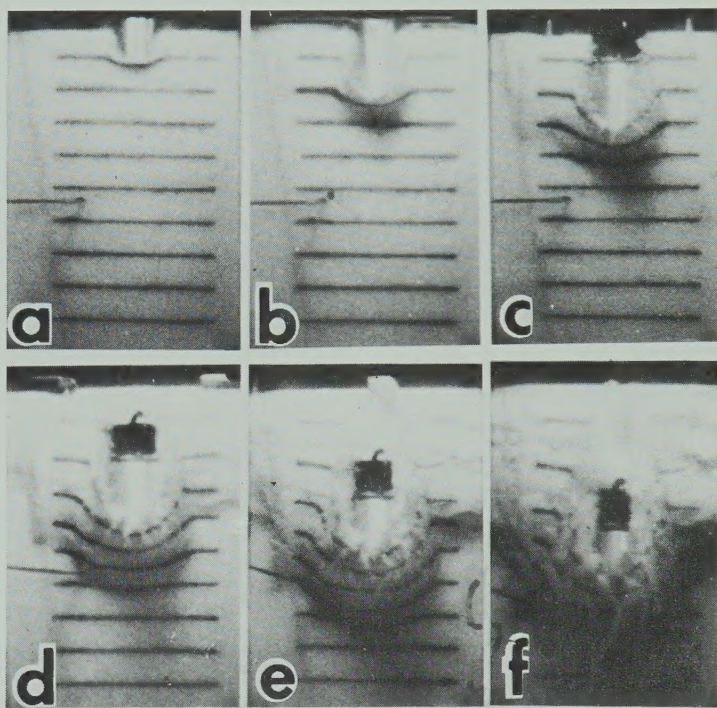


Snow strata revealed by spraying of ink.

雪国に新幹線が走るようになると雪の高速度除雪が問題になる。右の写真はその基礎実験を示すもので雪に予め一定間隔の水平線を入れておき、金属のシリンダーを高速度で押しこんだときの積雪の破壊の様子を高速度カメラで撮影したもの。撮影の時間々隔は5/1000秒である。塑性波の伝播速度を測定できる。

冬、シベリアから吹出す寒波は日本海で多量の水蒸気を吸いこみ、北陸、東北、北海道に多量の雪を落す。そして半年の長い冬がはじまる。

まず積雪を掘って真白い雪の壁を出しインクをかけてみよう。そうすると左の図のように地面に平行な縞模様があらわれる。地面に近い底の方ほど冬の初めに降った古い雪、上の方ほど新しい雪である。底の方のB層は冬の初め、融解、凍結のくりかえしで粒の細かいザラメ雪になっているが上層のAの部分は新雪である。A層とB層の間は粒の細かいしまり雪である。やわらかい新雪の比重は0.05~0.1であるがその上に雪がつもるとその重みで圧縮され比重を増す。したがって積雪の比重は底の方ほど大きい。しまり雪の比重は0.2~0.35, ザラメ雪のそれは0.3~0.5ぐらいである。



High speed penetration of a metallic piston in snow. Time interval of each frame is 5 milliseconds. The velocity of propagation of a plastic wave in snow can be measured.

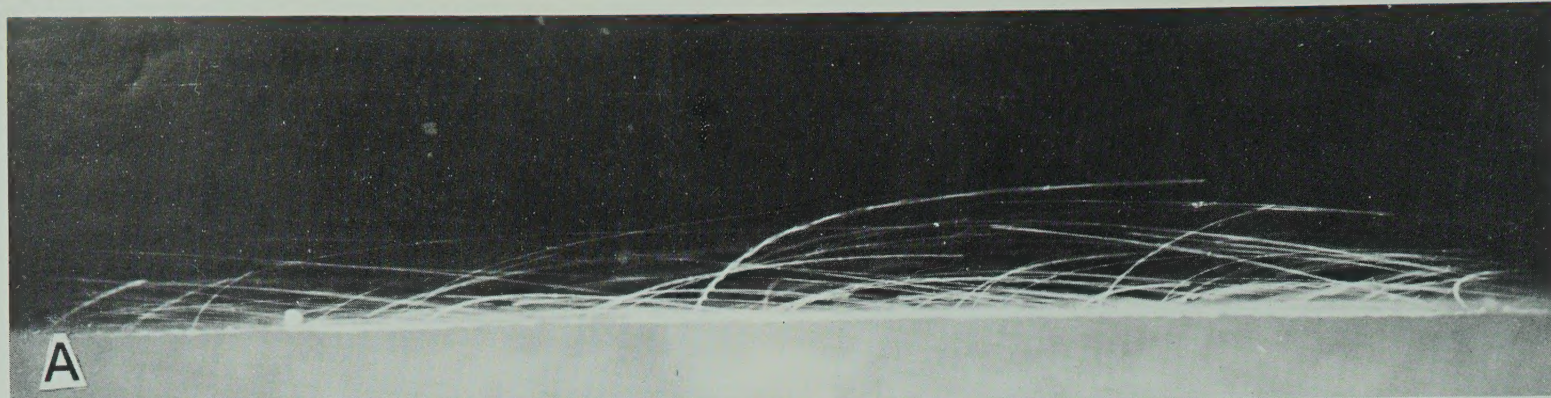


Splitting of tree due to the subsidence of snow cover

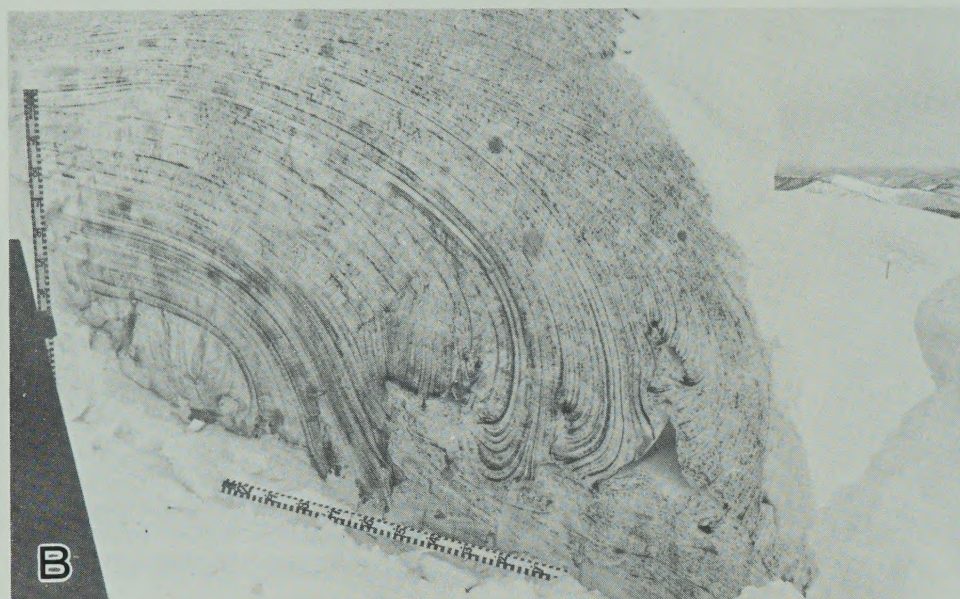
雪国では雪の沈降力によって果樹の枝折れがおこる。木の枝の上に少々雪がふり積っても枝は曲がるだけで折れることはない。ところが枝の先が地面の積雪に埋められるとたちまち左の写真のようにつけねで引裂れる。この作用が沈降力である。積雪の粒と粒とは焼結して互いにつながっているので枝には広い範囲の雪の目方がかかることになる。これが枝折れの原因である。ハイウエーの防護柵やフェンスの折れ曲りなども雪の沈降力の作用である。



# 雪の運動 Snow in Motion

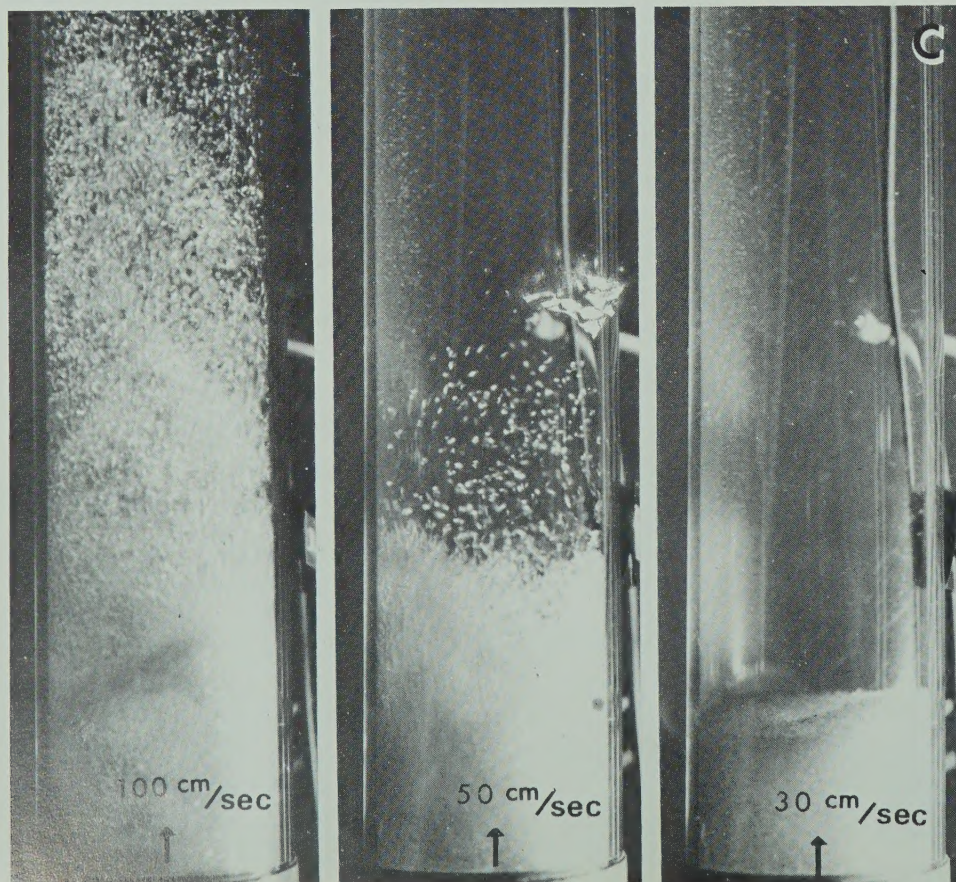


Saltation of ice particles at the snow surface.



Cross section of a snow cornice.

## 雪の流動化 Fluidization



Fluidization of snow

The critical air speed to cause fluidization : 100cm/sec at  $-14^{\circ}\text{C}$ .

雪面を強風がふくと雪粒を空中高く舞い上げ一寸先がみえなくなる。これが地吹雪である。地吹雪はあちこちに吹溜りをつくり交通障害をおこす。南極でおこる地吹雪はブリザードという。観測では風速が5 m/秒をこえると地吹雪がおこる。しかし風洞実験では風速が5 m/秒以上になっても地吹雪にはならない。風の力だけでは雪面に焼結している雪粒を吹きとばすことができないからである。こんなとき風上の雪面にほんの少しの雪粒を落してやるとこれがきっかけとなり地吹雪になる。雪粒が風下の雪粒に衝突してこれをはねとばし、はねとばされた雪粒がさらに風下の雪粒をはねとばすというふうにして連鎖反応式に地吹雪をおこす。これをサルテーションという。9頁、Aは天然の雪面の雪粒のサルテーションを示す写真である。

9頁、Bは雪粒の運動によって風下に発達した雪庇の内部の構造を示したものである。

9頁、Cはガラス管に雪粒をつめておき下から空気を送りこんで雪粒がガラス管の内部で流動化し始めるときの限界の風速を調べた実験である。上昇気流の速度が30cm/秒以下のときは雪粒はほとんど動かないが風速が50cm/秒になると少し流動しはじめ、やがて100cm/秒になると雪粒はガラス管のなかでさかんに流動しはじめる。風速をこれ以上強くすると雪粒はガラス管からとび出し飛散する。流動状態での雪粒を含む空気のみかけ粘度は数センチポアズで水の粘度とほぼ相等しい。なだれの運動を理解するのに役立つだろう。



# 雪崩 Avalanche



**D**

Ground avalanches near  
Toikanbetsu Station.



**E**

Snow folds produced by glide.

雪国では春が近づくと山あいには雪崩のとどろきを聞くようになる。雪崩のおそろしさや災害については今更いう必要もない。北海道問寒別の北大天塩演習林内に昭和40年11月雪崩観測所が設置された。それ以来、文部省特別事業費によって毎冬雪崩の研究観測が続けられている。10頁、Dの写真は昭和49年1月～3月にかけておこった雪崩の写真である。黒い地肌をみせている斜面は深い熊笹で覆われていて斜度は $33^{\circ}\sim 35^{\circ}$ である。一番手前のデブリがいくつかのしわになっている底雪崩は3月の下旬におこった。雪全体があたかも一枚の布のようにすべって重なり深いしわをつくった。このしわの大きさは写真Eの人物と比べてみればわかるであろう。

この研究所では富山大学と協力して黒部でおこる爆風をとまなうハウ雪崩の研究にもとりくんでいる。近く成果が期待される。



# 融雪 Snow Melting

雪は災害という面からいえば厄介ものであるが水資源としての重要性は夏の雨におとらない。北大雨竜地方演習林のある北母子里は盆地になっていて積雪量も多く、雪氷水文学的研究に便利な場所である。ここでは、水収支、熱収支の立場から融雪機構、融雪水の挙動、川への流出過程の研究が行われている。



Field observation in Moshiri basin.



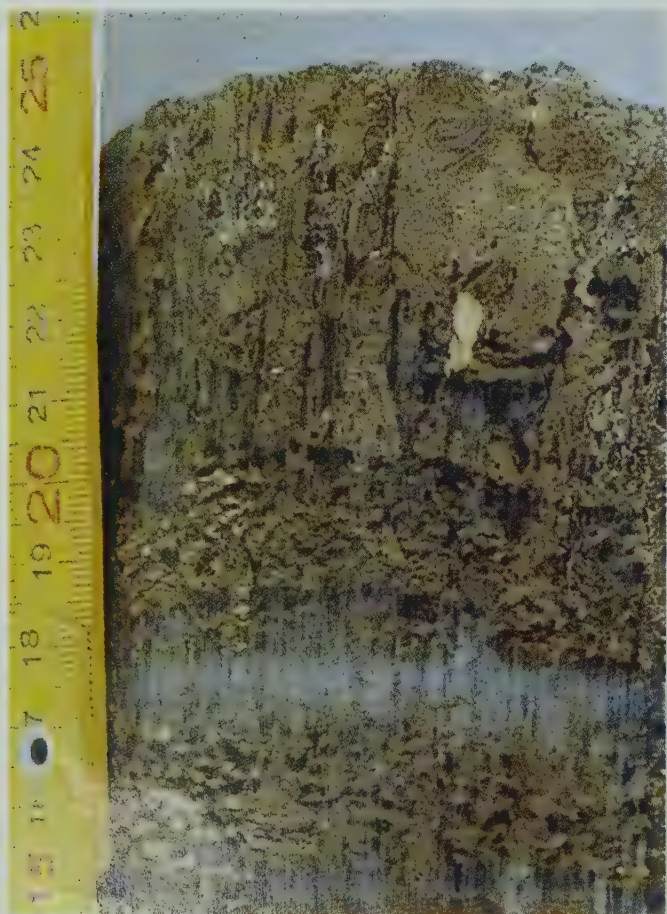
percolation of melt water in snow.

## 凍上 Frost Heaving

Filamentary growth of ice at the ground surface.



北海道のような寒地では、冬、凍上といって、寒さのために地面が持ち上がり、家が傾むいたり、道路や鉄道の路床が破壊されることがある。関東地方では冬、地面によく霜柱が立つが、北海道でおこる凍上は土の中に霜柱ができて地面が持ち上げられるのである。凍土を掘ってみるとレンズ状に霜柱がたくさんできている。地面にたつ霜柱は空気中の水蒸気が凝結してできるのではない。凍っていない土中の水分が地面まで移動してきて凍り柱状にのび出すのである。凍上の場合も寒気が深く地中に侵入するたびに同じような機構で何層もの霜柱が土中にでき地面を持ち上げる。凍上は暖地でも断熱工事のわるい冷蔵庫の下などでおこり、床や壁が破壊されることがある。

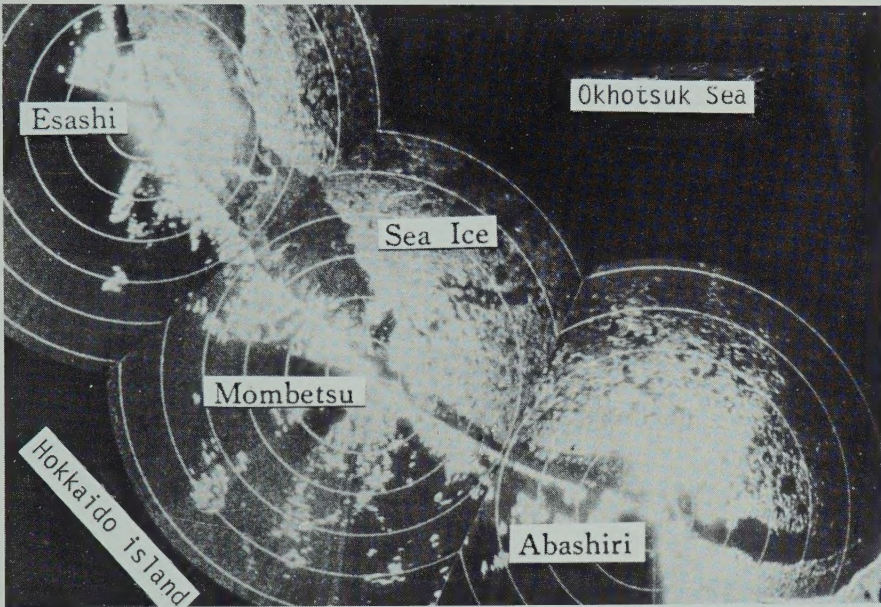


Ice lens formation in soil.





海氷の垂直断面 Structure of sea ice.



漁船に凍りついた海水のしぶき  
Accretion of frozen sea sprays on boat.

オホーツク海沿岸を南下する流氷レーダ写真  
A radar image showing ice fields near the Okhotsk Sea coast.

海外学術調査 Scientific Expeditions in Cold Regions

北極圏(Arctic Regions)

南極地域(Antarctic Regions)

1970	4- 5	第1次北極圏海氷調査(科研海外学術調査費)
1971	6- 8	積雪の変態と氷河水への転化(日米科学協力事業)
1972	3	北極海氷調査(流水研アラスカ調査費)
1972	5	第2次北極圏海氷調査(科研海外学術調査費)
1972	7- 8	積雪の変態と氷河水への転化(日米科学協力事業)
1973	3	アラスカ海氷調査(流水研アラスカ調査費)
1973	10-11	アラスカ海氷調査( " " )
1974	6- 7	永久凍土圏学術調査(科研海外学術調査費)
1975	2	土の凍結融解と水分移動(日米科学協力事業)
1975	2	ボスニア湾海氷調査(科研海外学術調査費)
1975	3- 4	アラスカ海氷調査(流水研アラスカ調査費)
1975	9	土の凍結融解と水分移動(日米科学協力事業)
1976	3- 5	アラスカ海氷調査(流水研アラスカ調査費)
1977	7- 8	永久凍土圏学術調査(科研海外学術調査費)
1977	7	アラスカ海氷調査(流水研アラスカ調査費)

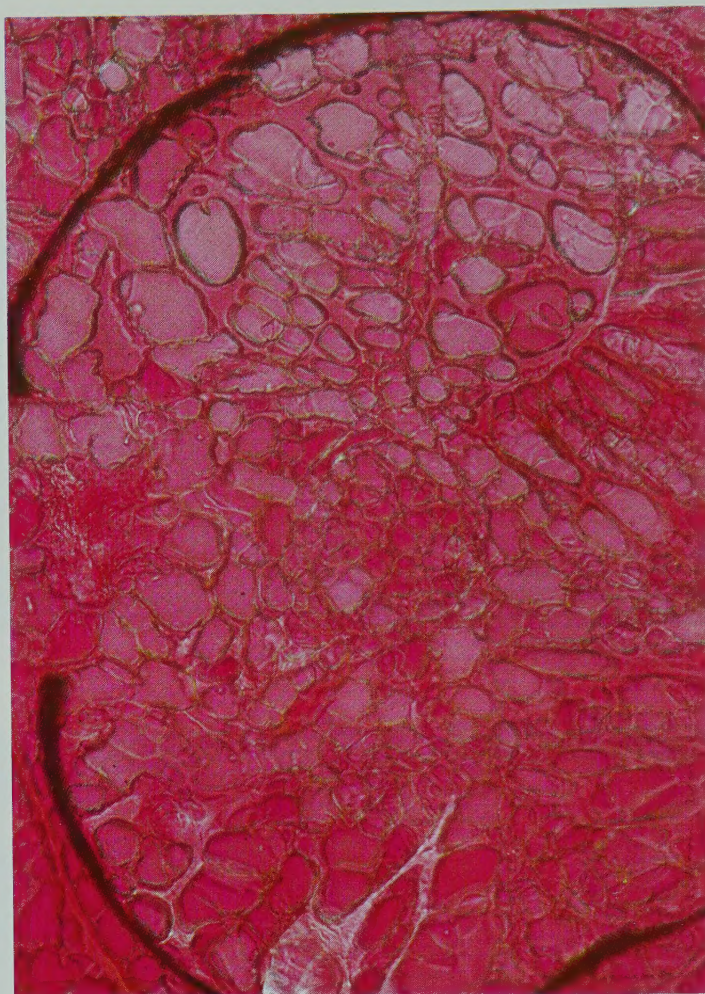
南極観測は1957年頃より始められた国際地球観測年 (I・G・Y) の一環として日本人により初めて南極に建設された昭和基地を中心にしてすゝめられてきた。自来、低温科学研究所はこの事業に協力し雪氷、氷河、海氷などの調査、研究のため毎年1~2名の科学者を南極に送りつけてきた。この研究所員が得た貴重な調査資料や研究結果は国立極地研究所が発行する各種の出版物に英文または和文で印刷公表されている。



# 昆虫の越冬 Wintering of Insect



A larva of insect wintering in a grass stem without freezing.



Cross section of an insect showing the extracellular freezing.

## 植物の凍霜害 Frost Injury



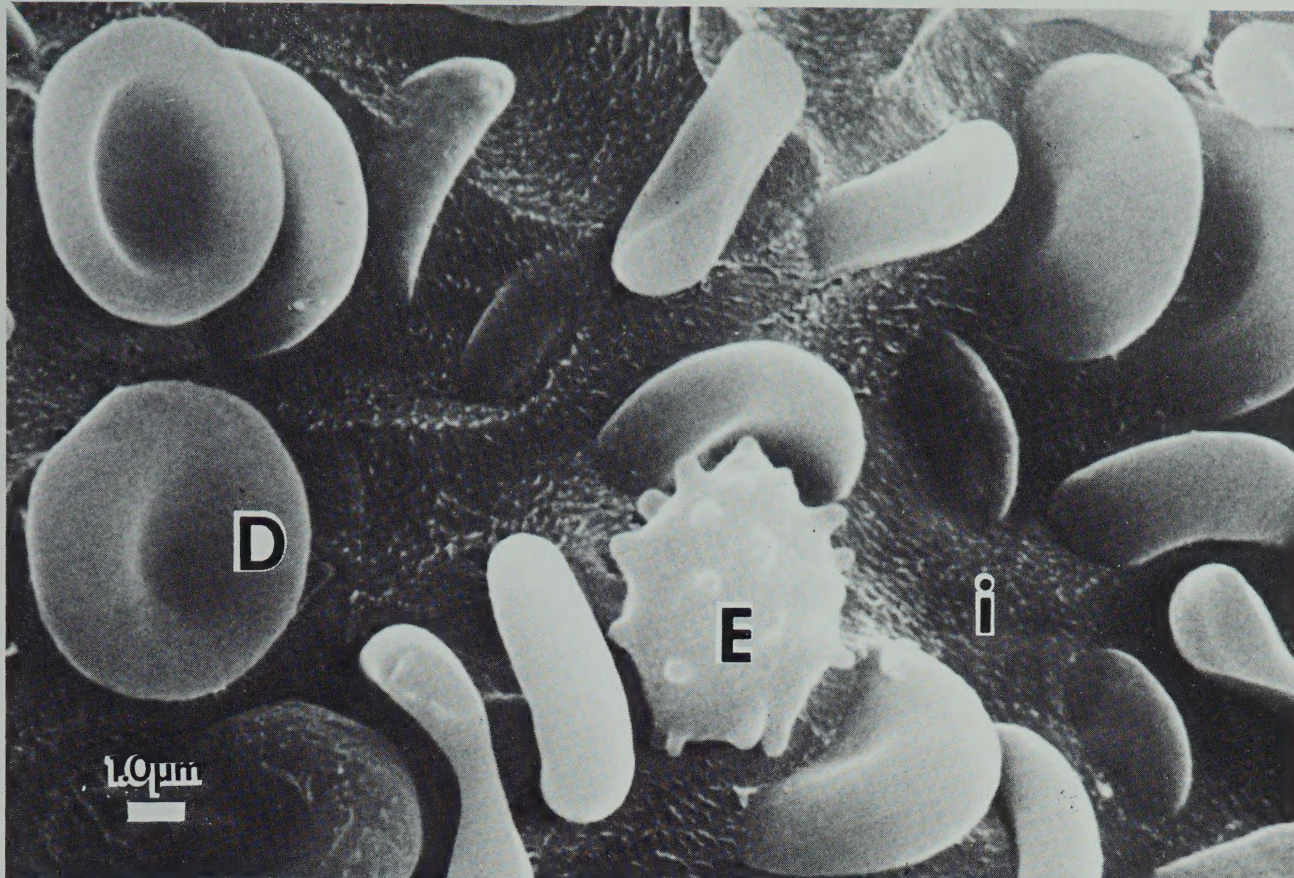
Frost injury of orange tree.

寒地では土中深くもぐって越冬する虫はめったに凍死することはない。しかし地上で越冬する虫はどうして凍死から身を守っているのだろうか？ある種の虫は枯草のくきのなかにひそみ過冷却の状態越冬する。もしなんらかのきっかけで体が凍っても細胞の内部に氷ができない限り死ぬことはない。本研究所の研究によるとある種の虫は秋になるとせっせと体のなかにグリセリンを貯えて凍死から身を守るといふ。グリセリンはもっとも有効な凍害防止剤なのである。

植物の凍害や霜害は寒地に適応して生存してきた植物よりもむしろ温暖な地方でぬくぬくと生育している植物の方がうけやすい。数年前ブラジルの広大なコーヒー園がたった一晚の霜で全滅したのはその好例である。日本の柑橘類も例外ではありえない。暖地に生育する植物ほど耐凍性が低いからである。寒冷地の植物は秋になると昆虫がグリセリンを体内に貯えるように糖分などを貯えて耐凍性を増し、きびしい冬を耐えるのである。



# 血液の凍結 Freezing of Blood



Scanning electron micrograph of frozen human red-blood cells showing discocyte(D) and echinocyte(E) shapes. (i) is ice.

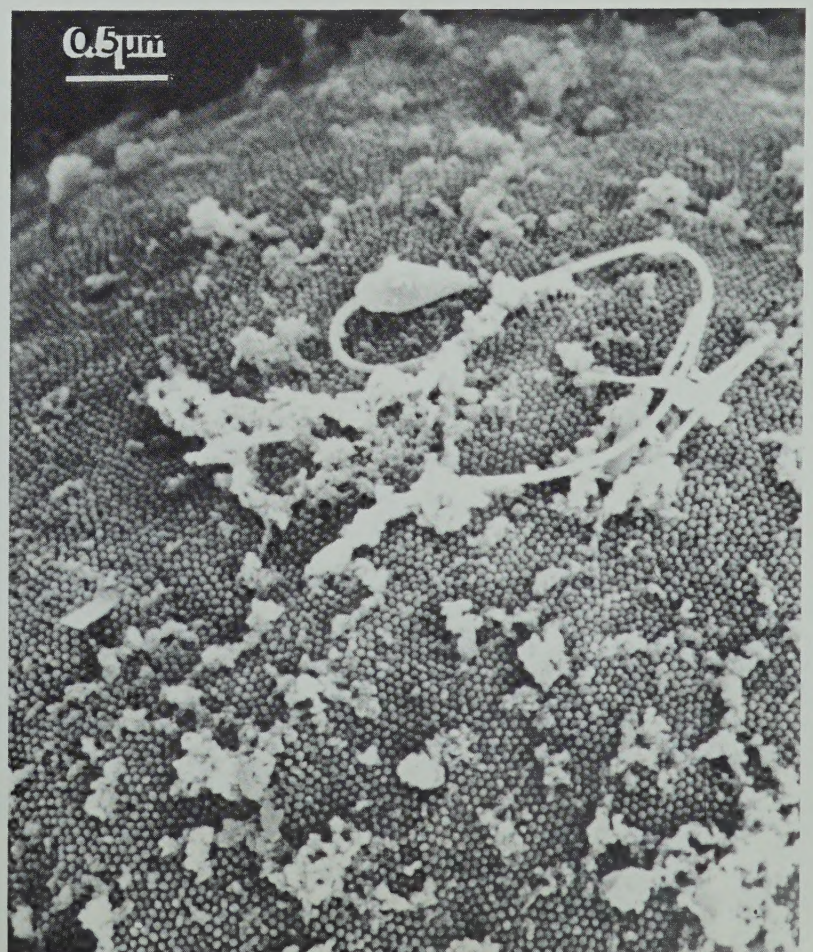
血液を低温で長期保存することは社会的要請の高いテーマの一つである。赤血球は単細胞であるが低温で保存中もし血球内部に氷ができると血球は壊れて死んでしまう。血球が死ぬともはや輸血には使えない。ところが血液にグリセリンを混ぜると $-190^{\circ}\text{C}$ という超低温で年単位の保存が可能になる。この方法は人間が越冬中の昆虫が体内にグリセリンを貯えて凍死からまぬがれるという自然の知恵に学んだものである。上の図は $-130^{\circ}\text{C}$ で凍結している人間の赤血球の走査型電子顕微鏡写真で血球がドーナツ形をしていることがわかる。背景は氷である。

ウニの卵は受精すると耐凍性が増す。受精は一匹の精子が卵に侵入すればそれで完了する。受精すると卵の表面は変化して他の精子の侵入を防ぐ。受精卵の表面の変化が耐凍性の増大と大いに関係がありそうである。右の写真は受精卵の表面構造を示す走査型電子顕微鏡写真である。一匹の精子がまさに卵のなかに侵入しようとする直前の姿をとらえている。

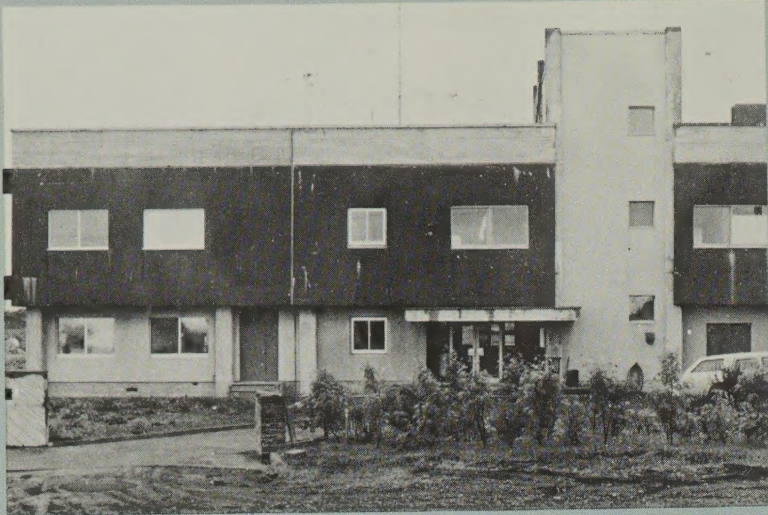
Scanning electron micrograph of a sperm touching the surface of a sea urchin egg. It has been accepted that a fertilized sea urchin egg has much more strong resistance against freezing than unfertilized egg.

## 受精卵の耐凍性

Freeze Resistance of Eggs.







紋別流水研究施設



問寒別雪崩観測所



苫小牧凍上観測所